

Романова Д.В., Кара-Ушанов В.Ю., Грицюк Е.М., Степанова Е. А.

РАЗВИТИЕ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ РЕТИНОПАТИИ НЕДОНОШЕННЫХ

Аннотация. Проведен литературно-аналитический обзор и оценка аналогов с отбором прототипных решений. Проведено алгоритмическое моделирование экспертной системы диагностики ретинопатии недоношенных.

Ключевые слова: экспертная система, диагностика ретинопатии недоношенных

Abstract. A literary and analytical review and evaluation of analogs with the selection of prototype solutions was carried out. Algorithmic modeling of the expert system for diagnosing retinopathy of prematurity was performed.

Keywords: expert system, diagnostics of retinopathy of prematurity.

Введение

Проблема несвоевременного диагностирования ретинопатии у недоношенных (РН) новорожденных детей с экстремально низкой массой тела особенно актуальна в отрасли детской офтальмологии. Заболевание является социально-значимым, так как следствием активного развития и несвоевременного лечения заболевания является полная или частичная слепота. Решением данной проблемы призваны стать автоматизированные экспертные системы.

Существующие экспертные системы диагностики ретинопатии (ЭСДР) не удовлетворяют потребности автоматизированного диагностирования ретинопатии у недоношенных детей. Специфика заболевания и его диагностирования требует более точного подхода. Интеллектуальные информационные системы ученых (R.Bellman, Christine L. Tsien, N. Lavrac и др.), разработка отечественного специалиста (Марчук Ю.В.) [1] решают последующую задачу – прогнозирования риска развития ретинопатии новорожденных.

Поставлена задача поиска объектов ЭСДР для улучшения или адаптации под специфику заболевания. Данная задача решена с помощью алгоритмического моделирования. Для последующей реализации необходимо математическое и компьютерное моделирование. Система будет иметь особую ценность в том случае, когда ей будет присуще самообучение. Для этого необходимо дедуктивное машинное обучение. Оно предполагает формализацию знаний экспертов и их перенос в базу знаний.

Классификация ретинопатии недоношенных

Необходимость адаптации существующих ЭСДР под РН обусловлена тем, что заболевание имеет классификацию и периоды развития. Выделяют 3 периода РН: активный, самопроизвольного регресса и рубцовый. В среднем продолжительность активного периода составляет 3-6 месяца жизни ребенка. Активная стадия РН завершается спонтанным самопроизвольным регрессом в первых двух стадиях заболевания или прогрессированием процесса до 3–5-й рубцовых стадий с разной степенью выраженности остаточных изменений на глазном дне вплоть до тотальной отслойки сетчатки.

Классификация РН включает:

- локализацию ретинального вовлечения зон;
- распространение ретинального вовлечения в часовых меридианах;
- стадии или степень тяжести РН на стыке васкуляризированной и аваскулярной сетчатки;
- наличие или отсутствие извитости и расширения сосудов заднего полюса (плюс-болезнь).

Локализация определяется согласно трем зонам (см. рис. 1), концентричным диску зрительного нерва, из-за происхождения нормальной ретинальной васкуляризации от центра диска зрительного нерва по направлению к зубчатой линии:

- зона 1 содержит ретину, ограниченную кругом, радиус которого эквивалентен двойной дистанции от центра диска к центру макула;
- зона 2 распространяется от края зоны 1 вкруговую к назальной зубчатой линии и окружает площадь возле темпорального экватора;
- зона 3 – оставшийся темпоральный полумесяц ретины кпереди от зоны 2.



Рисунок 1 – локализация РН

Ретинопатию недоношенных подразделяют на стадии. Стадия 1 – демаркационная линия – ограничивает аваскулярную ретину впереди от васкуляризированной ретины сзади. Анормальные ветви или аркады сосудов ведут к тонкой, плоской и белой демаркационной линии, которая лежит в плоскости сетчатки. Стадия 2 – гребень. Демаркационная линия увеличивается в объеме, становится выше и шире, но эта пролиферативная ткань остается интратретиально. Цвет гребня может изменяться от белого к розовому. Щетки новообразованных сосудов хорошо идентифицируются позади гребня. Иногда маленькие пучки новообразованных сосудов входят в гребень, но это не экстраретинальная фиброваскулярная пролиферация. Стадия 3 – гребень с экстраретинальной фиброваскулярной пролиферацией. Стадия 4 – субтотальная отслойка сетчатки. Стадия 5 – тотальная отслойка сетчатки. Отслойка сетчатки обычно тракционная, может быть экссудативной, обычно воронкообразной формы [2].

Поиск аналогов и прототипов

Для решения поставленной задачи адаптации существующих экспертных систем под специфику заболевания РН были рассмотрены следующие аналоги: анализатор ангиографических изображений глазного дна [3], portable system for identifying potential cases of diabetic macular oedema using image processing and artificial intelligence [4], AI Eye Screening System [5], экспертная система диагностики глазных заболеваний по изображениям глазного дна [6].

Таблица 1 – Сравнительная таблица аналогов экспертных систем диагностики

Критерий сравнения		Оценка экспертных систем диагностики			
		[3]	[4]	[5]	[6]
Получение готовых изображений от источника в различных форматах		+	+	-	+
Алгоритм работы с качеством изображений	Коррекция изображений	+	+	-	-
	Бинаризация	+	+	+	+
	Фильтрация шумов	+	+	-	-
	Построение остова области	+	+	+	+
Алгоритм анализа изображений		+	+	+	+
Сегментация изображения		+	-	-	-
Итоговая оценка		7	6	3	4

Прототипом 0-ого ранга выбрана экспертная система [3].

Алгоритмическое моделирование

Для адаптации выбранной системы под специфику заболевания необходимо ввести новые подсистемы. Алгоритмическая модель экспертной системы и модернизация подсистемы анализатора с предлагаемым решением изображены на рисунке 2.

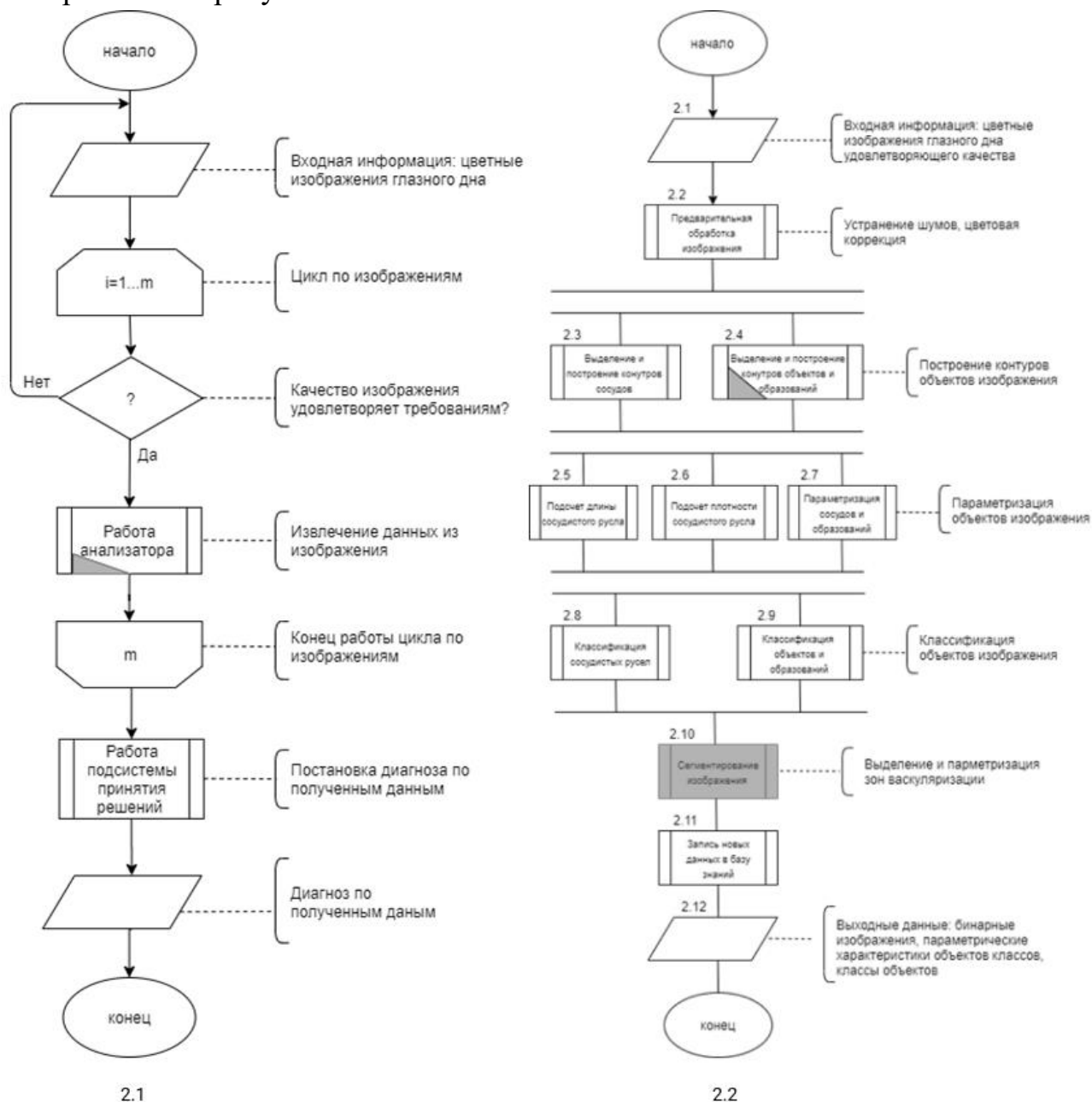


Рисунок 2 – алгоритмические модели экспертной системы (2.1) и анализатора изображений (2.20)

Представленная блок-схема подсистемы 2 (анализатор) включает блок предварительной обработки исходных изображений, блок анализа изображений, включающий блок 2.3 выделения и построения контуров сосудов и блок 2.4

выделения и построения контуров объектов и образований. Выход соединен с входом блока параметризации, включающего блок 2.5 подсчета длины сосудистого русла, 2.6 подсчета плотности сосудистого русла, блок 2.7 параметризации сосудов и образований. определения морфометрических характеристик сосудов и параметров зоны. Выход параметризации связан со входом блока классификации. В этом блоке проводится классификация выделенных изображений сосудов, сосудистых русел, объектов и образований. Для этого блок классификации содержит блоки 2.8 и 2.9. Каждый из блоков подсистемы связан с базой знаний, в которой производятся документирование и запись результатов анализа и хранятся эталоны и объекты классов изображений, сосудов, сосудистых русел, различных объектов и образований.

Необходимость введения новых блоков и модернизации уже существующих обусловлена классификацией заболевания и подразделения его на степени. Для классификации заболевания представляемой автоматизированной экспертной системой по стадиям необходимо выделить различные образования сетчатки глаза (формирование демаркационной линии, скопление гиперплазированных ангиобластов или "гребень", формирование фиброза в стекловидном теле). Выделение и построение контуров таких объектов выполняет подсистема 2.4.

Для классификации заболевания по локализации патологического процесса на сетчатке необходимо разделить снимок глазного дна на зоны (внутренняя зона, средняя зона, периферическая зона) эту функцию выполняет подсистема 2.10. Алгоритм работы блока продемонстрирован на рисунке 3. Подсистема имеет следующие блоки: 2.10.2 определение координат зрительного нерва, 2.10.3 построение контуров первой зоны, 2.10.4 наложение скелетов сосудов и объектов на контур первой зоны, при их пересечении выполняется расширение до 2 зоны (блок 2.10.6), аналогично происходит построение 3 зоны (блок 2.10.8). Далее происходит запись полученных данных в базу знаний.

Модернизированная подсистемы 2 (анализатора) обеспечивает четыре этапа извлечения информации из изображений глазного дна:

- 1) предварительная обработка изображений;
- 2) анализ изображений (выделение сосудов, сосудистых русел, объектов и образований);
- 3) определение морфометрических характеристик выделенных объектов;
- 4) классификация;
- 5) сегментирование изображения на зоны.

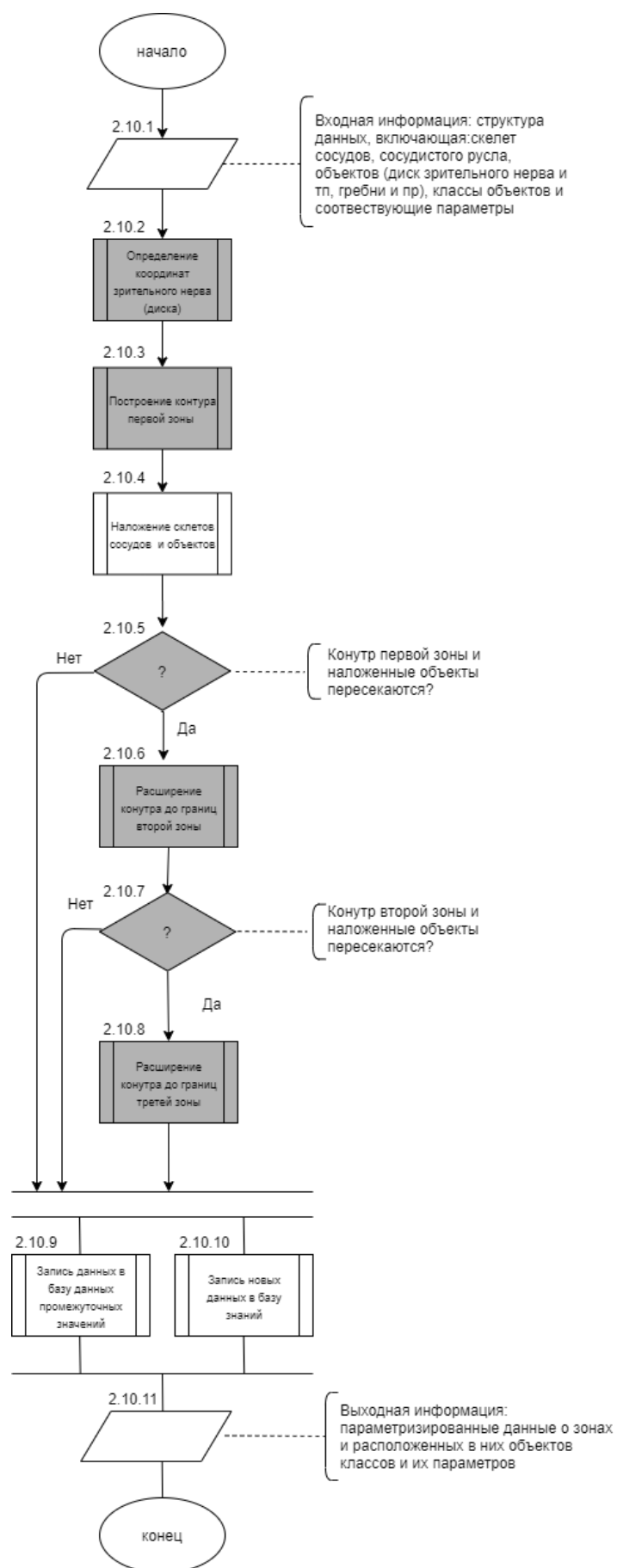


Рисунок 3 – Алгоритмическая модель подсистемы 2.10

Анализатор позволяет получить:

- 1) бинарные изображения с выделенными сосудами, объектами и образованиями, предназначенные для последующего анализа системой принятия решений;
- 2) морфометрические характеристики выделенных объектов:
 - плотность расположения сосудов,
 - средний диаметр сосудов,
 - среднеквадратическое отклонение диаметров сосудов,
 - общая длина сосудов;
- 3) бинарные изображения выделенных зоны васкуляризации;
- 4) площадь зоны васкуляризации в кв. мкм;
- 5) класс выделенных сосудов;
- 6) класс выделенной зоны васкуляризации.

Полученные данные являются входными для подсистемы принятия решений. Далее происходит анализ полученных данных, сравнение с эталонными данными из базы знаний, диагностирование. Структура базы знаний подробно описывается в патенте [3].

Заключение

В статье представлен обзор аналогов и прототипов ЭСД, проведено сравнение и выбран лучший из них. По результатам проведено алгоритмическое моделирование экспертной системы диагностики ретинопатии недоношенных и подсистемы анализатора изображений глазного дна. Предложены изменения – ввод новых блоков и модернизации уже существующих. Эти изменения адаптируют выбранный прототип экспертной системы диагностики под специфику РН и делают возможными разработку и реализацию автоматизированной экспертной системы диагностики ретинопатии недоношенных. Данная система предназначена для автоматизированной диагностики РН по снимкам глазного дна, ее классификации. Включает в себя подсистемы анализатора и подсистемы принятия решений, базу знаний.

Экспертная система диагностики ретинопатии недоношенных призвана с уменьшить риски несвоевременного диагностирования заболевания. Примером несвоевременности могут стать удаленные населенные пункты, в которых снимки глазного дна при отсутствии специалистов отправляют экспертам из региональных центров, таким образом увеличивая нагрузку на специалистов.

Библиографический список

1. Марчук Ю. В. Системотехника. моделирование и компьютер в прогнозировании ретинопатии недоношенных / Ю. В. Марчук, С. Л. Гольдштейн, С. И. Блохина. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2013. – 158
2. Климкин А. С. Актуальные вопросы офтальмологии / А. С. Климкин, М. В. Медведева // Cyberleninka : электрон. журн. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyy-vzglyad-na-problemu-retinopatii-nedonoshennyh> (accessed: 14.03.2020).
3. Пат. 2683758 Рос. Федерации, МПК А61В 3/18. Автоматизированная система анализа ангиографических изображений глазного дна человека : № 2018123368 : заявл. 27.06. 2018 : опубл. 01.04.2019 / Гуревич И. Б., Яшина В. В., Оспанов А. М., Федоров А. А. ; патентообладатель ФИЦ ИУ РАН. – 2 с.
4. Pat. WO/2020/005053. Portable system for identifying potential cases of diabetic macular oedema using image processing and artificial intelligence : N PCT/MX2019/000036 : Filing Date 12.04.2019 : Publication Date 02.01.2020 / SANTOS GARCÍA, ALTAMIRANO VALLEJO, APARICIO ROMERO [et al.]. – 3 p.
5. AI Eye Screening System : site. – URL: <https://www.eyenuk.com/en/products/eyeart/> (accessed: 14.03.2020).
6. Ильясова Н. Ю. Экспертная компьютерная система диагностики глазных заболеваний по изображениям глазного дна / Н. Ю. Ильясова, А. В. Устинов, В. Г. Баранов // Cyberleninka : электрон. журн. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekspertnaya-kompyuternaya-sistema-diaagnostiki-glaznyh-zabolevaniy-po-izobrazheniyam-glaznogo-dna> (accessed: 14.03.2020).